

Étude aérodynamique instationnaire d'un rotor éolien de Savonius : mise en évidence de l'influence de la portance

Pauline BUTAUD^a, Aurélien BESNARD^b, Thibaud MARCEL^c et Michel MAYA^c

a. Institut FEMTO-ST - Département de Mécanique Appliquée, F-25000 Besançon, France

b. Arts et Métiers ParisTech, LABOMAP, F-71250 Cluny, France

c. Arts et Métiers ParisTech, F-71250 Cluny, France

Résumé :

Dans cette étude des simulations numériques instationnaires ont été réalisées avec le logiciel Star-CCM+ pour mieux comprendre le fonctionnement de l'éolienne Savonius, notamment en comparant les résultats statiques instationnaires (éolienne immobile) et dynamiques (éolienne en rotation). Cette étude apporte une nouvelle vision sur son fonctionnement. En effet, l'éolienne Savonius est couramment dite de « trainée » car son couple serait maximal lorsque les aubes sont perpendiculaires au sens de l'écoulement (surface projetée maximale). Ce fait est effectivement vérifié en étude statique. Cependant, une étude dynamique montre que le couple maximal est obtenu lorsque l'axe des aubes est parallèle au vent, l'éolienne Savonius serait alors de « portance ». Ainsi cette étude ouvre de nouvelles perspectives quant à l'optimisation des rotors Savonius.

Abstract :

In this study unsteady numerical simulations with software Star-CCM+ were conducted to understand clearly the Savonius wind turbine operation, especially by comparing static results (motionless wind turbine) and dynamic results (wind turbine in rotation). This study provides a new vision of its behavior. Indeed, the Savonius is so-called « drag » as its torque is maximum when the blades are perpendicular to the flow direction (maximum projected area). This fact is actually verified with a static study. However, the dynamic study shows that the maximum torque is obtained when the axis of the blade is parallel to the wind, so the Savonius wind turbine would be « lift ». This study opens new perspectives for the optimization of the Savonius rotors.

Mots clefs : Savonius, simulation, dynamique.

1 Introduction

Le paramètre usuel pour déterminer les performances d'une éolienne est le coefficient de puissance C_p qui est le rapport entre la puissance délivrée par le rotor et la puissance fournie par le vent :

$$C_p = \frac{2C\omega}{\rho S v^3} \quad (1)$$

avec

- C le couple fourni par le rotor ($N.m$),
- ω la vitesse de rotation de l'éolienne ($rad.s^{-1}$),
- ρ la masse volumique de l'air ($kg.m^{-3}$),
- S surface de fluide interceptée de référence (m^2),
- v la vitesse du vent ($m.s^{-1}$).

Le coefficient de puissance est tracé en fonction du rapport des vitesses $\lambda = \frac{\omega R}{v}$ (où R désigne le rayon de l'éolienne) aussi appelé coefficient de vitesse adimensionnel. La tripale conventionnelle a un C_p d'environ 40% contre seulement 20% pour l'éolienne de type Savonius [1].

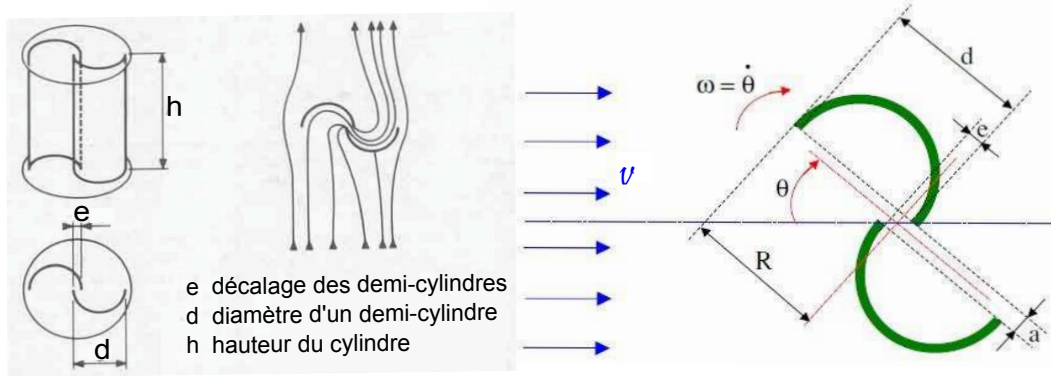


FIGURE 1 – Éolienne à axe vertical Savonius [2] [3]

La Savonius est composée de deux aubes semi-cylindriques décalées par rapport au centre (Figure 1). Bien que son coefficient de puissance soit assez faible, elle a été le sujet de nombreuses études pour comprendre, améliorer et optimiser son comportement aérodynamique. Le recouvrement $\frac{e}{2R}$, par exemple, a une certaine influence ; il permet au flux d'air amont d'être évacué en aval, et non de revenir à contre sens. Le coefficient de puissance de la Savonius serait optimal pour une valeur de recouvrement de 0,15 [4]. Des aubes profilées ont également été envisagées [5], ainsi qu'un nombre d'aubes plus élevé (deux aubes restant la solution la plus performante [6] [7]). Par ailleurs, un convergent placé de façon stratégique devant la Savonius permettrait de passer à plus de 37% de coefficient de puissance [8] [9]. Grâce à des simulations numériques sous le logiciel Star-CCM+, tout d'abord statiques (afin de valider le modèle), puis dynamiques, une nouvelle conception du comportement aérodynamique de la Savonius est mise en évidence.

2 Simulations Star-CCM+

L'étude est effectuée pour un nombre de Reynolds élevé (de l'ordre de 5.10^6) défini par $Re = \frac{2vR}{\nu}$ (ν la viscosité cinématique), ce qui nous dirige naturellement vers une modélisation URANS (ici, $k - \omega$).

L'ensemble des simulations a été effectué en 2D. Pour déterminer les paramètres de simulation (taille de maille, pas de temps, dimensions du domaine, etc.) plusieurs essais ont été réalisés pour vérifier la convergence et la répétabilité des calculs. A l'issue de ces essais, le domaine fluide fixe mesure $52R$ de côté, le pas de temps choisi est 10^{-3} s et le nombre de tours du rotor nécessaire à la bonne stabilisation du système (en dynamique) est fixé à 12 tours (les valeurs numériques sont relevées sur le dernier tour). La Savonius modélisée pour l'étude a toujours les mêmes dimensions. Il s'agit d'une éolienne d'un mètre de diamètre avec un recouvrement optimal de 0,15. Les aubes semi-cylindriques en aluminium font 3 mm d'épaisseur et 54 mm de diamètre.

L'éolienne est construite et maillée en 3D puis convertie en 2D (principe de Star CCM+). Le maillage du modèle tri-dimensionnel est composé de mailles polyédriques et, près des parois, de mailles prismatiques, de tailles variables selon l'emplacement. Elles sont dimensionnées comme un pourcentage du diamètre du rotor. Le maillage du modèle 2D est ensuite obtenu par conversion du maillage tri-dimensionnel. La Savonius est centrée sur le domaine, les mailles font 5% de la surface de l'éolienne pour les plus grosses, et moins de $1.3 \times 10^{-4}\%$ pour celles le plus proche des aubes (Figure 2). Par ailleurs, la distance à la paroi adimensionnelle y^+ est bien inférieure à 1, nécessaire pour le modèle URANS.

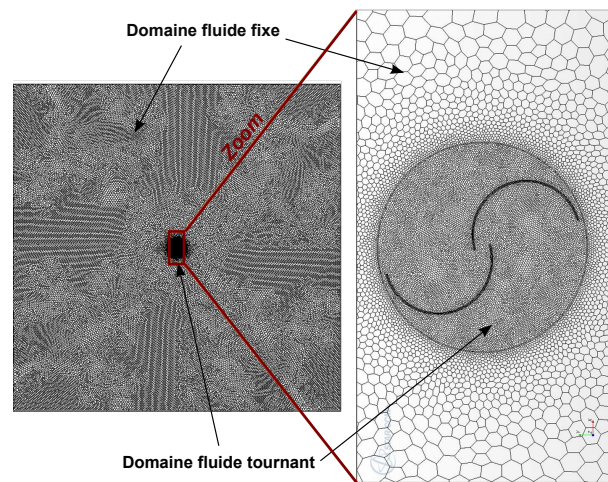


FIGURE 2 – Aperçu du maillage du modèle 2D

Une étude préalable en statique instationnaire permet de confronter la modélisation sous Star-CCM+ aux résultats expérimentaux et numériques de la littérature. Dans différentes positions par rapport à la direction du vent, le couple de la Savonius est calculé pour une vitesse de vent imposée en entrée du domaine (ici 7 m/s). Les conditions limites sur les côtés sont des conditions de symétrie, en sortie la pression atmosphérique est imposée, et les aubes ont des conditions limites de mur. Pour la position angulaire $\theta = 0^\circ$ la Savonius est « dans le vent », à $\theta = 90^\circ$ la Savonius est perpendiculaire au flux, elle est « face au vent » (Figure 1). Le moment statique maximal est obtenu à environ 45° . La rosace de moments (Figure 3) est en accord avec les résultats expérimentaux [10] et numériques [3] de la littérature.

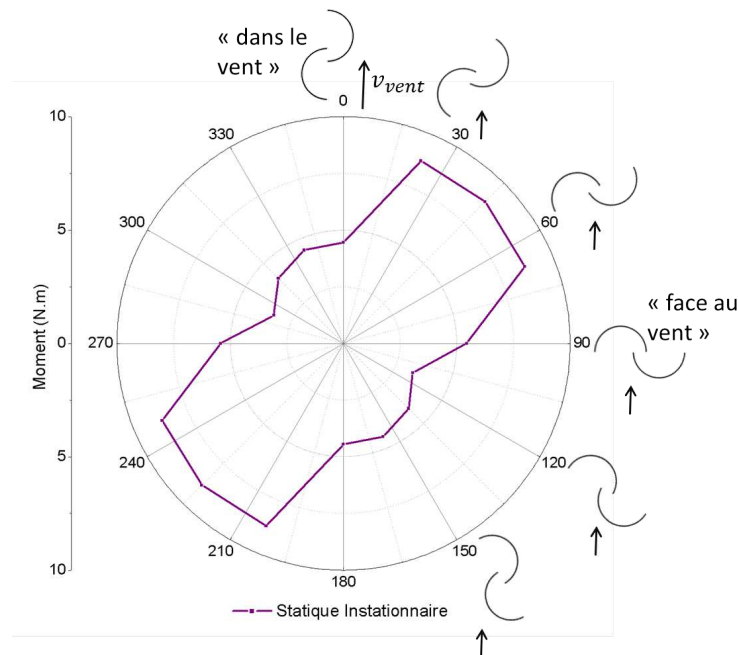


FIGURE 3 – Moment en fonction de l'angle de rotation, calcul statique instationnaire

Par ailleurs, cette rosace, établie en statique, justifie le nom « d'éolienne de trainée » donné à la Savonius dans les publications, car c'est la trainée différentielle entre l'aube menante et l'aube retour qui provoque la rotation de l'éolienne et non pas la force de portance.

3 Etude dynamique

L'éolienne Savonius est ici mise en rotation en imposant une vitesse de rotation ω à la structure.

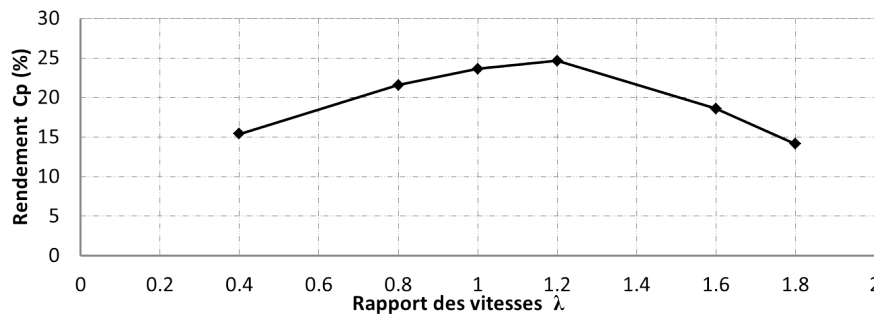


FIGURE 4 – Coefficient de puissance C_p d'une Savonius simple en fonction de λ

Pour obtenir la courbe du coefficient de puissance (Figure 4), six calculs ont été lancés avec différents rapports de vitesses λ (de 0.4 à 1.8), soit avec ω variant de 5.6 à 25.2 rad/s , pour une vitesse de vent fixée à 7 m/s . Le coefficient de puissance optimal d'environ 25% est en accord avec la littérature (sa valeur varie selon les publications de 15% [11] à 32% [12]).

La rosace de moments obtenue, par simulation dynamique cette fois, n'a pas la même orientation que celle obtenue en statique instationnaire. Le moment est maximal lorsque la Savonius est proche de la configuration « dans le vent » (à 15°), et par contre il est négatif lorsque l'éolienne est « face au vent ». Cette rosace (Figure 5) est en accord avec les calculs d'Akwa et al. [13].

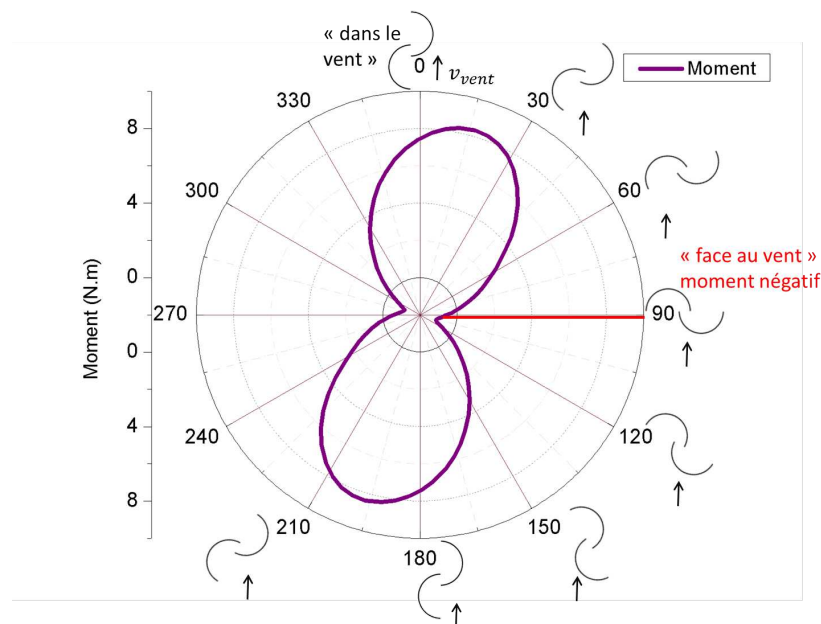


FIGURE 5 – Moment en fonction de l'angle de rotation, calcul dynamique ($\lambda = 1$)

Ce calcul dynamique remet en question l'appellation courante de la Savonius, « éolienne de trainée ». En effet, au vu des résultats, « éolienne de portance » paraît plus juste pour la définir. Les distributions des pressions autour de l'éolienne Savonius, dans le cadre de l'étude statique instationnaire et de l'étude dynamique, permettent d'expliquer ce décalage.

La Figure 6 présente la distribution des pressions lorsque la Savonius est « face au vent ».

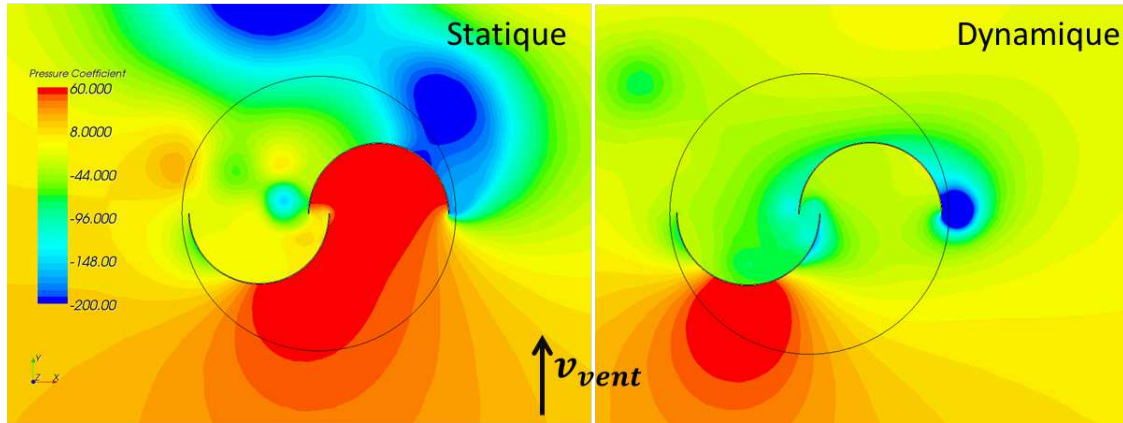


FIGURE 6 – Distribution des pressions « face au vent » en statique et en dynamique ($\lambda = 1$)

A 90°, en statique, la surpression est en majorité présente sur l'aube menante. En dynamique, elle se concentre sur l'aube retour, ce qui explique le moment négatif. Cette position est donc la plus efficace pour le démarrage de l'éolienne, lorsqu'elle est immobile, mais ce n'est plus le cas lorsqu'elle est en rotation.

La Figure 7 présente la distribution des pressions lorsque la Savonius est « dans le vent ».

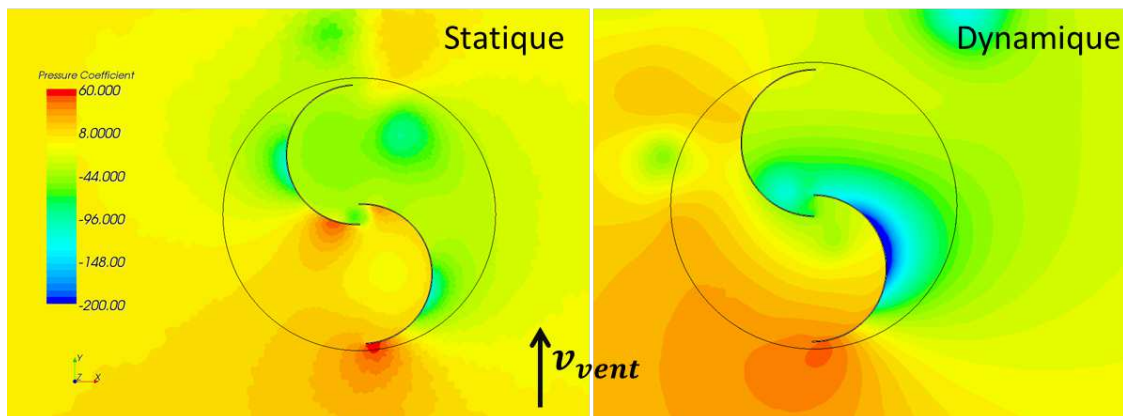


FIGURE 7 – Distribution des pressions « dans le vent » en statique et en dynamique ($\lambda = 1$)

A 0°, en statique, les variations de pression sont minimales. A l'opposé, pour le cas dynamique, la dépression nette sur l'aube menante crée une force de portance qui entraîne l'éolienne en rotation. Contrairement à l'idée reçue, ce serait donc dans cette position que l'éolienne est la plus performante.

4 Conclusion

La notion « d'éolienne de traînée » pour l'éolienne Savonius est remise en question dans cette étude. L'analyse dynamique de son fonctionnement montre l'influence de la portance. La Savonius ne peut pas réellement être classée dans l'une ou l'autre de ces catégories. Son efficacité au démarrage est en effet essentiellement due à la traînée, mais son maintien en rotation, lui, est principalement dû à la force de portance. La connaissance claire et précise de ce fonctionnement est nécessaire avant de tenter toute amélioration.

Cette étude met en évidence un phénomène intéressant qui ouvre de nouvelles perspectives quant à l'optimisation des rotors Savonius. Cependant, pour finaliser l'étude numérique, il est nécessaire d'effectuer une simulation tri-dimensionnelle afin de vérifier qu'aucun aspect 3D n'apparaît dans l'écoulement. Et, plus encore, pour s'assurer véritablement de ce comportement différencié statique vs dynamique, des essais expérimentaux sont indispensables.

Références

- [1] J. Whalley, M. Johnson, and B. MacMillin, "Effect of turbulence on savonius rotor efficiency," *Fluids Laboratory*, 2009.
- [2] J. Martin, "Energies éoliennes," *Techniques de l'ingénieur*, 1987.
- [3] J.-L. Menet and N. Bourabaa, "Increase in savonius rotors efficiency via a parametric investigation," in *European Wind Energy*, 2004.
- [4] N. Fujisawa, "On the torque mechanism of savonius rotors," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1992.
- [5] M. Mohamed, G. Janiga, E. Pap, and D. Thévenin, "Optimal blade shape of a modified savonius turbine using an obstacle shielding the returning blade," *Energy Conversion and Management*, 2011.
- [6] U. Saha, S. Thotla, and D. Maity, "Optimum design configuration of savonius rotor through wind tunnel experiments," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2008.
- [7] I. Ross and A. Altman, "Wind tunnel blockage corrections : Review and application to savonius vertical-axis wind turbines," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2011.
- [8] B. D. Altan, M. Atilgan, and A. Ozdamar, "An experimental study on improvement of a savonius rotor performance with curtaining," *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2008.
- [9] B. D. Altan and M. Atilgan, "The use of a curtain design to increase the performance level of a savonius wind rotors," *Renewable Energy*, 2010.
- [10] B. F. Blackwell, R. E. Sheldahl, and L. V. Feltz, "Wind tunnel performance data for two- and three-bucket savonius rotors," 1977.
- [11] M. Kamoji, S. Kedare, and S. Prabhu, "Experimental investigations on single stage modified savonius rotor," *Applied Energy*, 2009.
- [12] A. Wortman, "Introduction to wind turbine engineering," *Butterworth Publishers*, 1983.
- [13] J. V. Akwa, G. da Silva Junior, and A. P. Petry, "Discussion on the verification of the overlap ratio influence on performance coefficients of a savonius wind rotor using computational fluid dynamics," *Renewable Energy*, 2012.